

高等学校教学用书



桿件系統結構力学原理

И. М. 拉宾諾維奇著

高等教育出版社

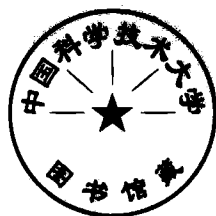
高等学校教学用书



桿件系統結構力学原理

И. М. 拉宾諾維奇著
同济大学結構力学教研組譯

(修訂本)



高等教育出版社



本書原系根据苏联国立建筑書籍出版社(Госстройиздат)出版的
И. М. 拉宾諾維奇(Рабинович)院士所著“杆件系統結構力学”
(Строительная механика стержневых систем)一書1946年版譯
出。1957年又根据該書1956年修訂第二版“杆件系統結構力学原
理”(Основы строительной механики стержневых систем)加以
修訂。原書經苏联高等教育部采矿冶金及土建高等学校主管司审定
为土建高等学校和系的教科書。

本書主要論述靜定結構力学、普通的超靜定結構力学(包括連續
梁、剛架、拱及桁架),以及由平板組成的棱柱形剛架計算、杆件系統
極限荷重的計算、結構的穩定計算、結構的动力計算原理及擋土牆計
算原理等。

本書旧譯本分上下兩册出版,現經修訂后依原書合訂成一册出
版。

本書由同濟大学結構力学教研組王达时、王龙甫、朱宝华、吳之
翰、俞征、俞載道、金成棟、張家麟、陳偉宗、李明昭、潘亦培、蕭智远、
張相庭、郑有珍等集体翻譯,由王龙甫、朱宝华、吳之翰、俞征、張相
庭、蕭智远、郑有珍、李明昭、潘亦培等參照原書1956年版修訂。

桿 件 系 統 結 構 力 学 原 理

И. М. 拉宾諾維奇著

同濟大学結構力学教研組譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第034号)

商 务 印 書 館 上 海 厂 印 刷 新 華 書 店 發 行

統一書号 15010·655 开本 850×1168 1/32 印張 17 6/16 插頁 4 字數 437,000 印數 1—1,500

1956年10月上册新1版(共印6,800)

1955年12月下册新1版(共印5,500)

1958年7月全訂本第1版 1958年7月上海第1次印刷 定价(10) 3.0

著者的話

本教科書与 1946 年出版的“杆件系統結構力學”初版並沒有多大區別。本教科書符合于土建學院的教學大綱，包括靜定和超靜定杆件系統的靜力和動力荷重作用以及穩定性的計算原理，也包括擋土牆的近似計算原理。与初版書相比較，在各節中有一些補充，第 24 章作不大的改寫，並新添了幾節（例如，§ 6.7, 11.11, 17.14, 19.8, 21.4 及第 22 章）。此外，若干節簡縮，還有幾節取消。

盡量使教科書精簡，著者僅保留基本上符合于土建學院教學大綱的那些材料。由于這個緣故，使學生注意到著者分別在 1950 年及 1954 年再版的較完備的兩卷教程是有益的。在該書中，讀者會找得結構力學各課題發展的較詳盡的歷史概述，以及某些問題的闡述，這些問題雖超出教學大綱的範圍，但是值得注意的。

著者對本書的審閱者——烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院院士 Н. В. 柯爾諾烏霍夫 (Корноухов) 教授所領導的基輔土建學院結構力學教研組全體人員——的許多有益的意見表示感謝。

目 录

著者的話.....	9	第四章 影响綫通論及其应用	
第一章 緒論.....	1	实例	31
§ 1.1. 結構力学的对象和任务	1	§ 4.1. 影响綫的概念.....	31
§ 1.2. 結構計算圖的概念	3	§ 4.2. 繪制影响綫的靜力法;簡梁	
§ 1.3. 結構計算圖的分类	4	的影响綫.....	32
§ 1.4. 平面杆件系統的支座分类	6	§ 4.3. 多跨梁的內力影响綫.....	38
第二章 結構的机动分析.....	9	§ 4.4. 影响綫縱坐标的因次.....	40
§ 2.1. 由剛体組成的平面机动鏈		§ 4.5. 靜止集中力系的影响.....	41
的自由度	9	§ 4.6. 按照任何規律分布的靜止連	
§ 2.2. 例題和習題.....	11	續荷重的影响.....	42
§ 2.3. 鉸接杆件平面系統的自由度.....	13	§ 4.7. 关于影响綫直綫部分的一种	
§ 2.4. 例題和習題.....	15	特性.....	44
§ 2.5. 几何不变平面系統的組成原		§ 4.8. 节点荷重的影响.....	44
理.....	15	§ 4.9. 繪制影响綫的机动法.....	45
§ 2.6. 瞬变系統.....	17	§ 4.10. 用机动法繪制影响綫的例題	
§ 2.7. 系統机动分析的步驟.....	19	和習題.....	48
第三章 結構力学的圖解法和		§ 4.11. 三角形影响綫的最不利荷重.....	49
索多边形	20	§ 4.12. 多边形影响綫最不利的列車	
§ 3.1. 圖解法在結構力学中的作用.....	20	荷重.....	52
§ 3.2. 力多边形和索多边形圖上的		§ 4.13. 承受均布荷重时任何影响綫	
标志.....	21	的最不利載荷.....	53
§ 3.3. 应用索多边形确定平面力系		§ 4.14. 具有同一集度的均布荷重系	
的靜力矩.....	23	統的最不利位置.....	54
§ 3.4. 在节点傳遞荷重下 M 圖和		§ 4.15. 影响綫的微商及其应用.....	55
Q 圖的作法.....	25	§ 4.16. 繞固定作用点轉动的集中力	
§ 3.5. 多跨靜定梁 M 圖和 Q 圖的		的影响 (影响圖).....	56
作法.....	26	§ 4.17. 史料簡述.....	58
§ 3.6. 史料簡述.....	30	第五章 靜定系統的通性	60
		§ 5.1. 什么是靜定杆件系統.....	60

§ 5.2. 分未知数为两组.....60	§ 7.8. 确定桁架内力的一般方法及 其衍变108
§ 5.3. 系统的静定性和几何不变性 之间的关系.....61	§ 7.9. 截断节点法109
§ 5.4. 瞬变的静力判据、零荷重法.....62	§ 7.10. 节点平衡的特殊情形112
§ 5.5. 在结构的基本部分和附属于 其上的各构件中的内力.....63	§ 7.11. 内力圖(馬克思魏尔-克烈莫 那圖).....115
§ 5.6. 平衡荷重的影响.....65	§ 7.12. 輪廓内部的节点承受荷重时 的圖解法120
§ 5.7. 等效改換荷重的影响.....66	§ 7.13. 具有交叉杆件桁架的圖解法121
§ 5.8. 温度变化、支座移动和杆件 长度不精确的影响.....67	§ 7.14. 应用荷重分解的圖解法122
第六章 三铰拱69	§ 7.15. 截面法123
§ 6.1. 基本概念.....69	§ 7.16. 例题·有平行弦杆和斜杆式 腹杆的桁架(圖 197)124
§ 6.2. 确定支座反力的數解法.....72	§ 7.17. 例题·有不平行弦杆和斜杆 式腹杆的桁架(圖 203)128
§ 6.3. 弯矩 M 圖76	§ 7.18. 截面法应用于比較复杂的情 况131
§ 6.4. 竖向荷重下三铰拱軸的合理 外形.....78	§ 7.19. 合力法134
§ 6.5. 竖向荷重所引起的切力圖和 軸向力圖.....79	§ 7.20. 兩截面法或多截面法135
§ 6.6. 求支座反力的圖解法.....81	§ 7.21. 杆件代替法(亨奈貝尔格法)136
§ 6.7. 确定支座反力时对称性的利 用.....83	§ 7.22. 桁架对称性的利用·將外荷重 分解成对称和反对称的方法139
§ 6.8. 合力多边形和压力曲綫.....84	§ 7.23. 机动法·用速度圖求内力140
§ 6.9. 核心弯矩和法向应力.....87	§ 7.24. 在非节点荷重下的桁架計算142
§ 6.10. H, M, Q 和 N 的影响綫.....88	§ 7.25. 組合桁架的計算144
§ 6.11. 应用零点繪制各同样的影响 綫.....90	§ 7.26. 史料簡述147
§ 6.12. 習題.....92	
第七章 靜定平面桁架計算·梁 式和悬臂梁式桁架93	第八章 梁式和悬臂梁式桁架 中內力的影响綫149
§ 7.1. 桁架的概念.....93	§ 8.1. 用截面法或节点法作影响綫149
§ 7.2. 桁架的分类.....94	§ 8.2. 習題156
§ 7.3. 瞬变铰接杆件系統100	§ 8.3. 瞬时轉动中心的应用159
§ 7.4. 瞬变性的静力特征101	§ 8.4. 較复杂系統的瞬时轉动中心 的作法164
§ 7.5. 速度圖的繪制104	§ 8.5. 速度圖的应用165
§ 7.6. 檢查瞬变性的机动法106	
§ 7.7. 桁架的荷重107	第九章 推力桁架和推力联合 系統167

- § 9.1. 三铰拱式桁架 (腹杆式的三铰拱) (圖 249).....167
- § 9.2. 关于悬跨系统的一般知識169
- § 9.3. 用加勁梁增強的懸鏈的計算171
- § 9.4. 多弦索多边形和关于覆索桁架一般理論的概念174
- § 9.5. 輻射覆索桁架計算例題178
- § 9.6. 例題和習題180

第十章 平面桁架的杆件和节

- 点的位移.....184
- § 10.1. 概論184
- § 10.2. 位移圖 (章洛圖) 的概念185
- § 10.3. 在比較一般情形下的位移圖的作法188
- § 10.4. 將撓度綫当作索多边形来繪制190

第十一章 空間桁架.....195

- § 11.1. 計算空間桁架的意义195
- § 11.2. 空間力的合成195
- § 11.3. 把力分解为和它交在一点的三个分力197
- § 11.4. 把力分解到六个方向上的一些情形200
- § 11.5. 把力分解到六个方向上的一些不确定的情形201
- § 11.6. 空間桁架的几何不变性和不动性的特征.....202
- § 11.7. 習題和例題206
- § 11.8. 用截断节点法求桁架內力209
- § 11.9. 分解桁架为平面系統以求內力211
- § 11.10. 用杆件代替法求內力212
- § 11.11. 靜定“双片結構”各構件的內力計算215

第十二章 超靜定系統的計算問題.....218

- § 12.1. 什么是超靜定杆件系統218
- § 12.2. 确定多余約束数目的公式219
- § 12.3. 有多余約束的系統之特性222
- § 12.4. 計算方法的分类224

第十三章 彈性系統的基本定

理.....226

- § 13.1. 基本概念226
- § 13.2. 广义力和广义位移227
- § 13.3. “靜力”作用的外力功·克拉必隆定理229
- § 13.4. 例題230
- § 13.5. 平面彈性杆件系統的內力功231
- § 13.6. 关于外力功和內力功的若干說明235
- § 13.7. 可能位移原理应用于彈性系統236
- § 13.8. 可能位移原理应用于实变位·位能237
- § 13.9. 功的互等定理238
- § 13.10. 关于位移互等的馬克思魏尔定理240
- § 13.11. 关于位移因次的見解242
- § 13.12. 撓度綫作为位移影响綫244
- § 13.13. 关于反力互等的雷理定理245
- § 13.14. 反力和位移的互等247
- § 13.15. 位能的偏微商·卡斯第里安諾定理249
- § 13.16. 史料簡述252

第十四章 杆件系統位移的确定.....253

- § 14.1. 靜定系統內力圖的繪制253
- § 14.2. 外在的影响: 荷重、約束的位移和溫度255
- § 14.3. 平面杆件系統位移的一般公式257
- § 14.4. 選擇單位力的例子261

§ 14.5. 在靜定系統內由于外荷重而 引起的位移	263
§ 14.6. 当內力圖之一是直綫圖形时 計算积分的規則	266
§ 14.7. 在超靜定系統中由于外荷重 引起的位移	270
§ 14.8. 在靜定及超靜定系統中的溫 度位移	271
§ 14.9. 由于支座或其他約束的移动 所引起的位移	274
§ 14.10. 用彈性荷重繪制曲杆或折杆 的撓度綫	279
§ 14.11. 史料簡述	280

第十五章 力法原理.....282

§ 15.1. 基本系統和基本(多余)未知 数	282
§ 15.2. 用于計算外荷重作用的方法 正則方程組	285
§ 15.3. 用于計算溫度作用的正則方 程組	286
§ 15.4. 已知支座位移情形下的正則 方程組	287
§ 15.5. 用于計算荷重、溫度和支座 位移联合作用的正則方程 組	289
§ 15.6. 史料簡述	289

第十六章 連續梁的計算.....291

§ 16.1. 連續梁的一般概念	291
§ 16.2. 多余約束的数目·基本系統 的選擇	292
§ 16.3. 在外荷重作用下連續梁的計 算·三弯矩方程式	294
§ 16.4. 例題和習題	301
§ 16.5. 弯矩定点比和弯矩定点	305
§ 16.6. 应用弯矩定点比作內力圖	310
§ 16.7. 弯矩影响綫的繪制	313
§ 16.8. 剪力影响綫的繪制	318

§ 16.9. 支座反力影响綫的繪制	319
§ 16.10. 把影响綫当作撓曲綫來繪制	320
§ 16.11. 最不利的荷重	321
§ 16.12. 支座移动的计算	324
§ 16.13. 具有彈性-移动支座的連續 梁	326
§ 16.14. 用預設弯矩法或預設力法 計算連續梁的概念	330
§ 16.15. 史料簡述	331

第十七章 用力法計算簡單剛

架和超靜定拱.....332

§ 17.1. 基本概念	332
§ 17.2. 具有一个多余未知数的剛架 計算	333
§ 17.3. 关于对称系統正則方程式的 簡化·具有三个多余約束的 剛架的計算	339
§ 17.4. 借引用剛臂更进一步地簡化 同样剛架的計算	344
§ 17.5. 具有系杆二铰拱的計算	345
§ 17.6. 系杆柔度的影响· M , Q , N 圖·压力曲綫	350
§ 17.7. 影响綫的繪制	354
§ 17.8. 溫度影响的計算	357
§ 17.9. 無铰拱·基本系統的選擇·确 定系数的数解法和圖解法	359
§ 17.10. 內力圖的繪制·压力曲綫	365
§ 17.11. 影响綫的繪制	367
§ 17.12. 溫度和收縮作用的計算	372
§ 17.13. 支座位移作用的計算	374
§ 17.14. 具有彈性支座的对称拱的計 算	376

第十八章 超靜定桁架的計

算.....380

§ 18.1. 超靜定桁架概論	380
§ 18.2. 截面的選擇	380

§ 18.3. 具有一根多余杆件的桁架的 計算	382
§ 18.4. 具有一根多余杆件的桁架影 响綫的繪制	385
§ 18.5. 具有几根多余杆件的桁架的 計算	386
§ 18.6. 用已知应力法計算桁架	388

第十九章 用力法計算复杂剛

架系統

§ 19.1. 概論	391
§ 19.2. 关于靜定基本系統的内力圖 M 和任何系統的内力圖 Q , N 的作法	391
§ 19.3. 关于基本系統的合理選擇	395
§ 19.4. 組合内力圖和組合未知数的 特性	398
§ 19.5. 組合未知数法应用示例	399
§ 19.6. 由对称条件导出的补充簡化	402
§ 19.7. 几种基本系統的应用	403
§ 19.8. 在水平(風)荷重作用下多跨 多層剛架的近似計算	405
§ 19.9. 用循序近似法解正則方程式 (用重复法)	406
§ 19.10. 内力圖和影响綫的檢查	408
§ 19.11. 史料簡述	411

第二十章 用变形法計算剛架

系統

§ 20.1. 剛架系統节点的彈性可动度	412
§ 20.2. 变形法各系数的公式(反力 公式)	414
§ 20.3. 变形法的概念	420
§ 20.4. 任何超靜定平面杆件系統的 变形法的正則方程式	423
§ 20.5. 豎柱剛架的变形法方程式	427
§ 20.6. 組成方程式举例	434
§ 20.7. 溫度作用的計算	435

§ 20.8. 影响綫的繪制	437
§ 20.9. 用力法和变形法联合求解問 題	437
§ 20.10. 混合法	438
§ 20.11. 史料簡述	441

第二十一章 用力矩定点比法

計算剛架

§ 21.1. 在节点不移动的剛架內基本 未知数的公式	443
§ 21.2. 例題	447
§ 21.3. 具有移动节点的剛架的計算	448
§ 21.4. 多跨多層剛架在豎向荷重下 的近似計算	452

第二十二章 由平板組成的棧

柱形剛架的計算轉化为平面

杆件剛架的計算(B. 3. 伏拉

索夫教授的方法)

§ 22.1. 基本假定	455
§ 22.2. 狹条剛架的平衡微分方程式	457
§ 22.3. 例題	462

第二十三章 按極限荷重計算

杆件系統

§ 23.1. 引言	468
§ 23.2. 承受永久荷重的超靜定桁架 的計算	469
§ 23.3. 承受一次加载和卸載的靜定 梁的計算	473
§ 23.4. 承受一次加载和卸載的超靜 定梁的計算	475
§ 23.5. 一些意見	480

第二十四章 結構穩定性的計

算

§ 24.1. 穩定性計算的意义	482
------------------------	-----

§ 24.2. 关于精确的和近似的计算	483
§ 24.3. 确定具有有限多的与无限多个自由度的系统之临界荷重	484
§ 24.4. 确定直杆的临界力的近似方法	489
§ 24.5. 可能位移原理应用示例	491
§ 24.6. 组成杆件的临界力	493
§ 24.7. 关于用变形法计算刚架的稳定性的概念	496
§ 24.8. 例题	501
§ 24.9. 史料简述	502

第二十五章 结构的动力计算

原理	504
§ 25.1. 动力荷重的种类	504
§ 25.2. 弹性系统的自由度	505
§ 25.3. 运动的微分方程和它的积分	506
§ 25.4. 系统自然振动频率的确定	508
§ 25.5. 例题	511
§ 25.6. 杆件系统的强迫振动	512

§ 25.7. 突加荷重的影响	513
§ 25.8. 荷重短时作用的影响	513
§ 25.9. 瞬间冲量的影响	514
§ 25.10. 例题	516
§ 25.11. 振动荷重的影响	517
§ 25.12. 横向弯曲撞击的影响	519
§ 25.13. 史料简述	521

第二十六章 挡土墙的计算

原理	523
§ 26.1. 概论	523
§ 26.2. 库伦理论	524
§ 26.3. 利勃哈理论和邦西莱图解法	528
§ 26.4. 墙上土压力的公式	532
§ 26.5. 总压力图和压力集度图	533
§ 26.6. 临时荷重的影响	536
§ 26.7. 土壤的被动压力(反推力)	538
§ 26.8. 挡土墙的强度计算	540
§ 26.9. 挡土墙的倾复和滑动计算	544
§ 26.10. 史料简述	545

第一章 緒論

§ 1.1. 結構力学的对象和任务

就其广义来讲，結構力学应该指从事于研究建筑物的强度、刚度和稳定性的计算原理和计算方法的科学。

对所设计的新結構进行强度计算和稳定性计算的目的，在于保证这些結構有足够的、但又不是多余的安全，这样就把这些結構的耐久性和经济性统一起来。计算刚度的目的是在于消除发生大的結構变形（挠曲、沉陷和振动）的可能性，虽然这些变形对于結構本身并無危险，但是从使用方面来看是不适宜的。

不仅在设计新的結構时必须进行计算，而当原有的結構必须受到新的或以前未曾考虑到的荷重作用时，亦须加以计算。计算必须查明这些荷重在何种程度下是允许的，是否需要进行加强結構和怎样加强它。

結構力学在现代建筑事业中的价值是很大的。计算赋予设计工程人员以这样一种能力，好像把隐藏在結構物里的静力，而有时也把动力，都揭露在设计人员的眼前，使能考察力对結構任何部分的作用，以及预测在所选定的各部分的結合下在材料中所发生的应力；这在一百年前还是不可想像的。

如果把結構力学看作純粹的数学课程，那就犯了严重的錯誤。由于結構力学是研究由某些建筑材料所做成的实际結構物的强度和刚度，所以它的結論就应该根据这些材料实际性质的研究和認識，也就是应该根据按适当方式所做的試驗。

所有关于構造本身的假定以及在拟定适当的計算方法时，我們所賦予結構的所有假定的性質，必須用同样的方法来檢查。

只有經過了試驗的檢查阶段后，理論方能認為可靠。

測定發生在結構模型內和結構本身內的應力和變形的現代試驗技術，已經到達極高的水平，這對於結構力學是一個強有力的幫助。

我們在這裡談的是關於廣義的結構力學，也就是直接或間接與結構計算有關的一些課程的綜合。這些課程是材料力學、彈性理論、塑性理論和狹義的、通常所稱的結構力學。材料力學主要是從事於簡單梁計算的理論，它對建築構造和機械構造同樣是重要的課程。狹義的結構力學不同於材料力學，它主要是研究組成結構物的梁或杆件系統的計算理論。這兩種課程都企圖主要地利用一些比較簡單的數學方法來解決問題。彈性理論和它們的差別是把結論的嚴密性和準確性提到首要的地位，因此不得不採用比較複雜得多的數學工具。應該補充說，彈性与塑性理論所研究的問題，不僅與建築工程有關，而且對一系列其他技術領域也有關係。

狹義的結構力學也稱為結構理論。

為簡略起見，我們今後所用“結構力學”一詞僅指狹義的，且和“結構理論”的名詞不加區別。

我們稱這本書為“杆件系統結構力學原理”，因為目前這種系統的計算基本上規定了結構理論教程的內容。

很久以來，這項科學的名稱是這樣沿用的，但是有些作者到現在還用“結構靜力學”或“結構圖解靜力學”的名稱。

上面最後的一個名稱完全不符合這門科學的實際內容，因為數解法並不比圖解法占較次要的地位。“結構靜力學”的名稱似乎也有些陳舊，因為除了靜力學以外，在現代的結構理論中，動力學的問題已經起着顯著的作用。

§ 1.2. 結構計算圖的概念

結構計算圖是實際結構的簡化形像；在計算過程中它替代着原來的結構。

在希望給工程師一個可以直接應用到實踐上的解答，結構力學不得不使問題的条件簡化，放棄一系列比較不很重要的因素，而以計算圖代替實際結構來處理問題。

我們來舉一個計算圖的例子。

一個梁式系統的金屬橋跨結構通常是由兩個豎桁架組成，其相互之間由縱向和橫向的支撐及橋面系統聯系起來。橋面系統包括二端鉚接或焊接到主桁架的橫梁，鉚接或焊接到橫梁的縱梁和裝置在縱梁橫

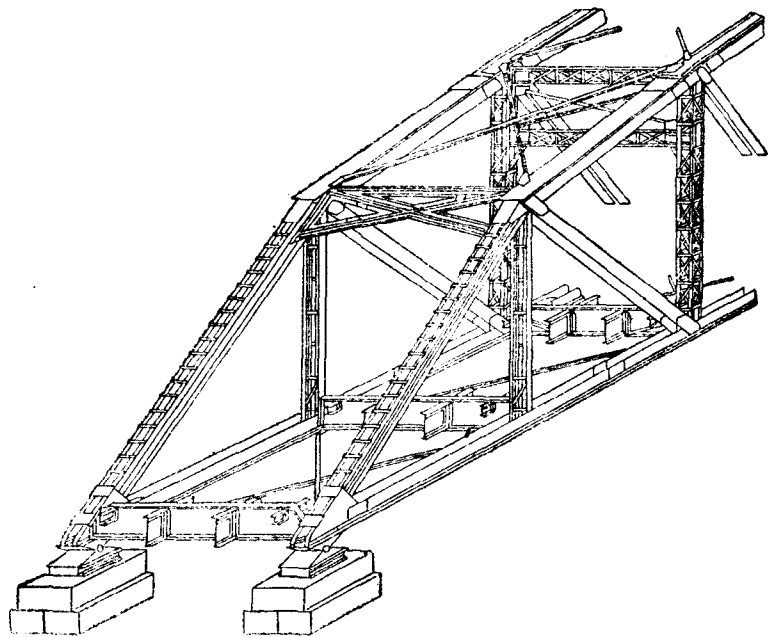


圖 1.

梁上各种形式的桥面。組成每一个桁架的金属的杆件，兩端都坚固地互相連接着。这种桥跨結構的大概形式表示在透視圖 1 中^①。

在豎向荷重作用下計算这种桥跨結構，通常是不把整个系統看作空間系統，而把荷重按照杠杆定律分配到两个桁架上，并且把每个桁架看作独立的系統。支撐和桥面的变形以及其傳給主桁架的某些內力都略而不計。主桁架上的每一杆件是以其几何軸綫来代替的；所有这些軸綫又認為是严格地布置在同一平面中。形成桁架节点的所有杆件又認為在其兩端严格地相交在一点，即在节点的中心。杆件的相互連接都假定为理想鉸接的。外力是認為严格地作用在上述理想圖形的平面中。不移动的和移动的支座認為是理想鉸接的；摩擦力不計。所有这些假定的綜合便形成这桥跨結構計算圖的特征。

§ 1.3. 結構計算圖的分类

在結構力学中，我們將只运用結構的計算圖，但为了名詞的簡略起见，我們將利用“結構”这个名詞，不再每次另加說明。

按其計算的观点上看来，結構可以根据不同的特性来分类。

从几何或空間的观点上，結構可以分为三类：

1. 由杆件組成的結構，也就是由这种構件所組成，它們的一个尺寸(長度)远超过其他两个尺寸。这样的結構，我們称之为杆件結構；一根單独的杆件是杆件系統的特例。

2. 由下列構件組成的結構，它的两个方向的尺寸(長度和寬度)远超过第三方向的尺寸(厚度)。这种構件称为薄片、薄板和薄壳。

3. 这类結構的三个尺寸是同級大小，这些可以称为塊体、实体或者簡單地称为物体。

計算圖按这样的特点来分类是很重要的，因为上述的三类在計算的特性上彼此大有区别。在本教程中差不多專講杆件系統。

① 摘自巴頓(B. O. Патон)教授所著“鋼橋”(Гелезные мосты)卷 I, 1915, 第 1 頁。

杆件系統也可分成平面的和空間的兩種。所有杆件（包括支承杆件）的軸綫和外力的作用綫在同一平面內的那種系統，稱為平面系統，不符合這個條件的系統，稱為空間系統。

從機動的觀點來看，系統分為：

(1) 幾何不變和不動的系統，其中只具有為保證不變性和不動性所必要的機動約束數目；

(2) 幾何不變和不動的系統，其中具有某些多余約束；

(3) 幾何可變的系統。

只因材料變形而引起形狀改變的系統，稱為幾何不變系統。換句話說，用絕對剛性的材料做成，也不會改變本身的形狀，則稱為幾何不變的系統。

機動的特性有很重要的意義，因為作為一個結構，只可採用前面的兩個類型（不變形的）。同時，這兩個類型按照靜力的性質和計算的特點彼此又大有區別。

從構件相互連接的特點來看，結構分為：(1) 鉸接的，(2) 剛接的，(3) 混合的。在平面杆件結構的計算圖中，鉸（圓柱形鉸）是看作只允許兩個杆件繞垂直於其平面和通過鉸心的綫軸作相對轉動的裝置。鉸上的摩擦力認為等於零。圖 2 所示的剛架可作為剛接構件的杆件系統的

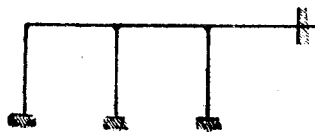


圖 2.

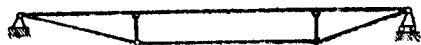


圖 3.

示例；圖 3 的桁構梁作為混合系統的示例。構件互相連接的方法反映到結構功用的特性，同時也影響計算方法。

從支座反力的方向來看，結構可分為無推力的和有推力的。

豎向荷重只產生豎向反力的結構屬於第一類。所有其餘的結構屬

于第二类。有推力系統的特征是支座具有水平分反力，对系統本身的功用以及支座的功用，都有重大影响。

§ 1.4. 平面杆件系統的支座分类

这些支座只允許在系統的平面内有某种运动，它們可以有三类：

1. 铰接移动支座 圖 4 表示金屬桥跨結構移动支座的構造。桥

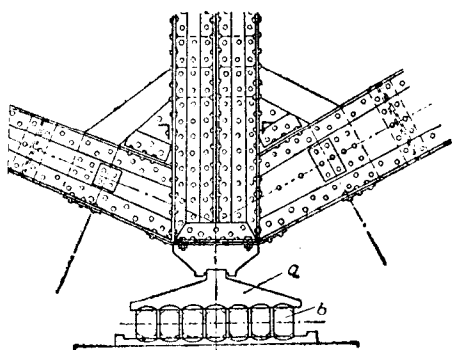


圖 4.

跨結構是和上面的承墊 a 絞接着的，承墊 a 擱置在圓柱形的滾軸 b 上；滾軸 b 可以沿着下面的具有圓柱面或平滑面的承墊在桁架的平面中滾動，但不可能沿垂直于桁架平面的方向滑动。

这种支座表現在構造上可以是多种多样的，但是它的

計算圖可以經常画成圖 5 所示的式样。从机动观点来看，这种支座的特点在于既不阻碍系統在它的平面内轉动，也不阻碍它在平行于直綫 MN 方向移动，而仅消除它沿垂直于直綫 MN 方向的移动可能性。

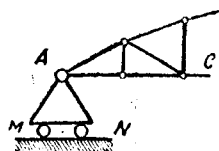


圖 5.

圖 6 表示屬於同一类型的裝置，这里，給可动系統裝上了一塊承座墊 CD ，它可以沿着固定的表面 EF 無摩擦地轉动和滑动。支座反力永远通过接触点 A 并且指向兩曲綫的公共法綫方向。

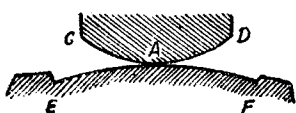


圖 6.

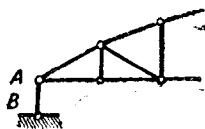


圖 7.

鉸接移动支座的机动性能和静力性能,可以用圖 7 的形式代表,也就是用垂直于支座直綫 MN (圖 5) 的所謂支座鏈杆 AB 来代表。

这样的鏈杆允許系統繞鉸 A 轉动,并且允許系統沿以 B 点为圓心、以 BA 为半徑所作的圓周移动。但是圓周上的無限小的一段可看作直綫。在另一方面,这样的支座形像是适宜的,它同时显示支座反力的方向和位置: 这反力的作用綫是沿 AB 軸。这种支座反力只有一个未知数——反力的大小;同时支座用一根支座鏈杆表示。

2. 鉸接不移动支座 这种支座只允許系統繞一垂直于系統平面的固定軸綫轉动。圖 8 表示的金屬柱子作为这种支座構造的例子^①。这种支座的圖式如圖 9, a 所示。从机动和静力观点来看,这种支座可以完全用圖 9, a 和圖 9, b 来表达它的特点。支座反力通过 A 点,并含有兩

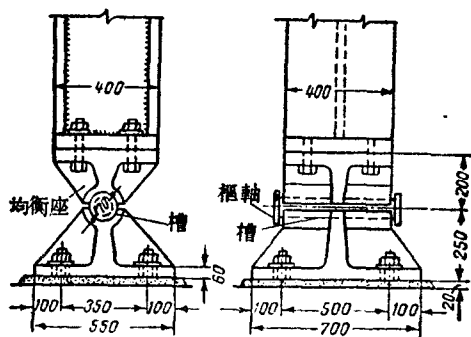


圖 8.

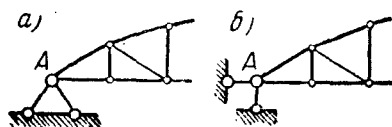


圖 9

① Проф. Н. С. Стрелецкий, А. Н. Гешев и др., "Стальные конструкции," 1952, стр. 316.